

実験動物施設に関する研究 (その2)

——飼育室の気密性測定——

尾崎 明 弘 青 木 俊 憲
(本社 建築本部 設備設計部) (日本レダリー志木工事事務所)
斉藤 隆 雄 西 岡 利 晃
(本社 エンジニアリング事業部)
一 橋 克 美

Studies on Animal Experiment Facilities (Part 2)

——Airtightness Test of Animal Rearing Room——

Akihiro Ozaki Toshinori Aoki
Takao Saito Toshiaki Nishioka
Katsumi Ichihashi

Abstract

At an animal experiment facility the room is disinfected after each cycle of experiments has been completed. At such time, it is very important for adjacent rearing rooms to be airtight to protect the animals accommodated from the disinfectant. This paper describes results of airtightness tests where airtightness was evaluated in actual rearing rooms from variations in pressures in the rooms. From the results of airtightness tests in 17 rearing rooms, leakage volume ranged between 0.17 and 0.98 m³/h·m² in case of pressure differences of 3 mmAq between rearing rooms and exteriors. About 70 percent of leakage volume is from small opening spaces of airtight doors, and these leakages can be decreased through use of sealants. Going a step further, the volume of leakage of disinfectant gas to the outside was calculated and it was found there is practically no leakage.

概 要

実験動物施設では1サイクルの実験終了時に室の殺菌を実施するが、隣接する飼育室の収容動物保護のために飼育室の気密性を高めて殺菌ガスの室外漏洩を防止しなければならない。この報告は実際の飼育室において室内圧力変動から気密性評価を行なったものである。17飼育室の気密性(エアタイトドア、壁、天井材の性能)測定結果から、殺菌作業を想定した場合の漏洩量(室内外圧力差3mmAqに仮定)は床面積1m²あたり約0.17~0.98m³/hの範囲であり、そのうち約70%はエアタイトドアすき間からのものであった。ドアすき間からの漏洩は取付部のシール材の厚さを確保することで改善された。測定結果を用いて殺菌作業を実施した場合の室外へのガス漏洩を試算した結果、隣接する飼育室への漏洩はほとんど発生しないことが確認できた。

1. はじめに

実験動物施設では通常、一系統の実験終了後に飼育室内の殺菌が実施される。このとき隣接飼育室内の収容動物保護、あるいは施設内従業員のために殺菌ガスの室外漏洩防止が求められ、飼育室の気密性が重要視される。一般的に室の気密性評価はサッシ部材の漏気特性による

算出や、実験的には室外のファンで給気した場合の給気量と圧力差の関係を求めるなどの方法により行なうが、飼育室では特殊なサッシ部材が使用されることや、竣工後の測定用ダクト設置などが不可能なために上記の方法は採用されず、厳密な気密性評価の実施は困難である。

この報告は実際の実験動物施設で室内圧力変動から空気密度変化を求める方法で室の気密性評価を行なった結

果を述べるものである。室内圧力は圧縮空気ポンベ（以後ポンベとする）から空気を放出して室内圧力を高めることにより変動させた。気密性の評価はエアタイトドア、壁、天井材について行ない、併せて実際の殺菌作業時における隣接室への漏洩ガス量の試算と今回採用した気密性評価方法の実用性を検討した。

2. 実験概要

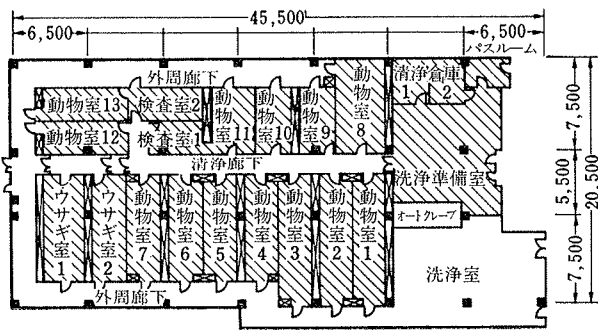
2.1. 実験条件

気密性を測定した飼育施設の平面を図一に示す。測定は図上に斜線で示した飼育室15室と検査室2室（うち1室は飼育室11に含む）および洗浄室（清浄倉庫などを含む）の計17室で実施した。各室の洗面器具やコンセントなどといった、殺菌作業時に養生が加えられるすき間部分（詳細は表一のとおり）はビニールシートとテープでシールした。室内のシール状況を写真一に示す。

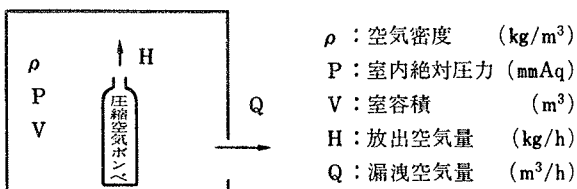
気密性の測定は、表一に示すすき間部分のうち汚染廊下側エアタイトドア（以後ドアとする）部分以外をシールした状態の全室と、四つの室についてはドアもシールした状態（この場合の漏洩部位は壁、天井部材）で実施し、さらにドア部分以外をシールした状態で漏洩量が比較的多かった室を含む10室ではドア取付部分のシール材を交換（十分な厚さを確保）した後、再測定を実施した。測定を行なったすき間部分の組合わせを表二に示す。

2.2. 実験方法

室内に持ち込んだポンベから空気を放出して室内圧力を適度（大気に対して 20~30 mmAq 程度）に高め、空気放出停止後の圧力減衰過程から空気の密度変化を算出して漏洩空気量を求めた。室内圧力の検出には測定機器



図一 飼育室の平面



図二 室内空気の状態

類の全部を室内に設置できるように絶対圧力計（ST 研究所製）を用い、出力をペンレコーダーで記録した。

2.3. 漏洩空気量の算出

図一に示す室内の空気密度の変化は(1)式のように室内の空気量の変化として表わせる。

$$V \cdot \frac{d\rho}{dt} = H - \rho \cdot Q \quad \dots\dots\dots(1)$$

ポンベからの空気放出を停止した時点以降、 $H = 0$ なので(2)式が成立する。

$$V \cdot \frac{d\rho}{dt} = -\rho \cdot Q \quad \dots\dots\dots(2)$$

これは図一に示す空気放出停止後の圧力減衰過程に相当し、このときの室内圧力と空気密度の関係は気体の

①	吹出口
②	排気口
③	清浄廊下側ドア
④	外周廊下側ドア
⑤	火災報知器
⑥	コンセント
⑦	温湿度検出器
⑧	照明器具取付部



写真一 室内のシール状況

表一 各室のすき間(漏洩)部分

Case	室名	すき間部分								備考
		①吹出口	②排気口	③清浄廊下側ドア	④外周廊下側ドア	⑤火災報知器	⑥コンセント	⑦温湿度検出器	⑧照明器具取付部	
1	動物室 1	○	○	○		○	○	○	○	
2	動物室 2	○	○	○		○	○	○	○	
3	動物室 3	○	○	○		○	○	○	○	
4	動物室 3	○	○	○		○	○	○	○	再試験
5	動物室 3	○	○	○	○	○	○	○	○	
6	動物室 4	○	○	○		○	○	○	○	
7	動物室 4	○	○	○		○	○	○	○	再試験
8	動物室 5	○	○	○		○	○	○	○	
9	動物室 5	○	○	○		○	○	○	○	再試験
10	動物室 5	○	○	○	○	○	○	○	○	
11	動物室 6	○	○	○		○	○	○	○	
12	動物室 6	○	○	○		○	○	○	○	再試験
13	動物室 7	○	○	○		○	○	○	○	
14	動物室 8	○	○	○		○	○	○	○	
15	動物室 8	○	○	○	○	○	○	○	○	
16	動物室 9	○	○	○		○	○	○	○	
17	動物室 9	○	○	○		○	○	○	○	再試験
18	動物室 10	○	○	○		○	○	○	○	
19	動物室 10	○	○	○		○	○	○	○	再試験
20	動物室 11	○	○	○		○	○	○	○	検査室 1 を含む
21	動物室 12	○	○	○		○	○	○	○	
22	動物室 12	○	○	○		○	○	○	○	再試験
23	動物室 13	○	○	○		○	○	○	○	
24	動物室 13	○	○	○		○	○	○	○	再試験
25	動物室 13	○	○	○	○	○	○	○	○	
26	ウサギ室 1	○	○	○		○	○	○	○	
27	ウサギ室 1	○	○	○		○	○	○	○	再試験
28	ウサギ室 2	○	○	○		○	○	○	○	
29	ウサギ室 2	○	○	○		○	○	○	○	再試験
30	検査室 2	○	○	○		○	○	○	○	
31	検査室 2	○	○	○		○	○	○	○	再試験
32	洗浄室	○	○	○		○	○	○	○	清浄倉庫などを含む

(注) 表中、再試験とあるのはドア突付部のシール材を交換後に行なったものである。

表二 すき間部分の組合わせ (○印がシールしたすき間)

状態方程式により(3)式で示せ、(2)式を(3)式で整理すると(4)式になる。

$$\rho = \frac{G}{V} = \frac{P}{R \cdot T} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$V \cdot \frac{dP}{dt} = -P \cdot Q \quad \dots\dots\dots(4)$$

G: 空気重量 (kg)
T: 絶対温度 (k)
R: 気体定数

圧力Pを室外圧力を基準に表わすと、漏洩空気量Qとの関係は(5)式で示せる。

$$Q = a \cdot \Delta P^{1/n} \quad \dots\dots\dots(5)$$

a, n: 定数

ΔP : 室内外圧力差 (mmAq)

QおよびPという二つの未知数は、これを表わす(4)、(5)の2式から一意的に解けるが、(5)式は非線形なので、図-3に示す圧力減衰過程の測定値を用いてPとQの関係を求める。ポンプからの放出空気によるPの変化量は十分に小さいので(4)式のPは一定とする。図-3の減衰過程の任意の時刻(t_i)における $P(t_i)$ を用いて

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P(t_i) - P(t(i-1))}{t_i - t(i-1)}$$

に近似して(4)式より $Q(t_i)$ を求める。これを時刻(t_n)まで繰返し、n個の $P(t_i)$ 、 $Q(t_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$)を用いて最小二乗法により(5)式のa, nを決める。このようにして求めた(5)式とファンによる加圧法により求めた(5)式の例を図-4に示す。図より明らかなように二つの評価方法による結果はよく一致しており、殺菌作業時の室内圧力上昇を想定した場合(0~20 mmAqの室内圧力上昇範囲)において、今回採用した気密性評価方法が十分な実用性を持つといえる。

3. 結果と考察

3.1. 各室の気密性

全室の測定結果を表-3に示す。なお、表-3の漏洩特性は(5)式で求めた漏洩量を床面積で整理してある。一般的な飼育室の殺菌はホルマリンやグルタールアルデヒドの噴霧、蒸散により行ない、それに伴う室内圧力上昇はほとんど生じない。表ではこのような殺菌法を採用

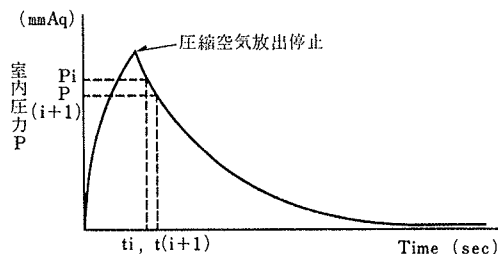


図-3 圧力の減衰過程

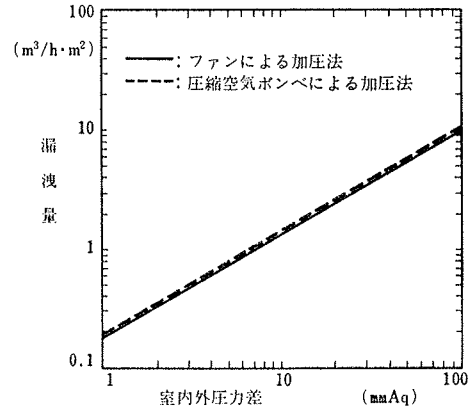


図-4 評価方法による漏洩特性の差異

Case	室名	減衰時間 (sec) *1	漏洩空気量 (m³/h·m²)	外周部下側ドア *2	室面積 (m²)	差圧 3 mmAq の場合の漏洩量 (m³/h·m²)
1	動物室1	25.0	$Q=0.11 \times \Delta P^{0.83}$	シール替前	35.9	0.28
2	動物室2	20.0	$Q=0.19 \times \Delta P^{0.64}$	シール替前	35.9	0.40
3	動物室3	44.0	$Q=0.07 \times \Delta P^{0.78}$	シール替前	35.9	0.17
4	動物室3	41.0	$Q=0.08 \times \Delta P^{0.73}$	シール替後	35.9	0.19
5	動物室3	69.5	$Q=0.04 \times \Delta P^{0.85}$	全面シール	35.9	0.10
6	動物室4	17.5	$Q=0.20 \times \Delta P^{0.72}$	シール替前	26.0	0.44
7	動物室4	47.0	$Q=0.08 \times \Delta P^{0.72}$	シール替後	26.0	0.17
8	動物室5	15.0	$Q=0.23 \times \Delta P^{0.75}$	シール替前	26.0	0.52
9	動物室5	86.0	$Q=0.03 \times \Delta P^{0.96}$	シール替後	26.0	0.08
10	動物室5	54.0	$Q=0.05 \times \Delta P^{0.99}$	全面シール	26.0	0.13
11	動物室6	15.5	$Q=0.25 \times \Delta P^{0.63}$	シール替前	26.0	0.51
12	動物室6	74.0	$Q=0.05 \times \Delta P^{0.74}$	シール替後	26.0	0.10
13	動物室7	35.5	$Q=0.08 \times \Delta P^{0.86}$	シール替前	26.0	0.20
14	動物室8	19.0	$Q=0.18 \times \Delta P^{0.68}$	シール替前	34.7	0.39
15	動物室8	59.5	$Q=0.08 \times \Delta P^{0.61}$	全面シール	34.7	0.15
16	動物室9	11.0	$Q=0.23 \times \Delta P^{0.87}$	シール替前	18.8	0.60
17	動物室9	24.0	$Q=0.14 \times \Delta P^{0.75}$	シール替後	18.8	0.32
18	動物室10	9.0	$Q=0.34 \times \Delta P^{0.72}$	シール替前	18.0	0.77
19	動物室10	39.0	$Q=0.09 \times \Delta P^{0.72}$	シール替後	18.0	0.20
20	動物室11	28.0	$Q=0.10 \times \Delta P^{0.85}$	シール替前	34.4	0.25
21	動物室12	12.5	$Q=0.21 \times \Delta P^{0.86}$	シール替前	20.8	0.54
22	動物室12	22.0	$Q=0.13 \times \Delta P^{0.74}$	シール替後	20.8	0.30
23	動物室13	6.5	$Q=0.39 \times \Delta P^{0.83}$	シール替前	23.4	0.98
24	動物室13	44.0	$Q=0.07 \times \Delta P^{0.82}$	シール替後	23.4	0.17
25	動物室13	58.0	$Q=0.05 \times \Delta P^{0.81}$	全面シール	23.4	0.13
26	ウサギ1	13.0	$Q=0.26 \times \Delta P^{0.69}$	シール替前	33.3	0.56
27	ウサギ1	53.0	$Q=0.05 \times \Delta P^{0.95}$	シール替後	33.3	0.13
28	ウサギ2	12.0	$Q=0.27 \times \Delta P^{0.70}$	シール替前	26.9	0.60
29	ウサギ2	65.0	$Q=0.04 \times \Delta P^{0.83}$	シール替後	26.9	0.11
30	検査室2	15.0	$Q=0.17 \times \Delta P^{0.91}$	シール替後	19.8	0.48
31	検査室2	26.0	$Q=0.09 \times \Delta P^{0.99}$	シール替後	19.8	0.28
32	洗浄室	29.0	$Q=0.12 \times \Delta P^{0.70}$	シール替前	120.6	0.26

*1 室内外圧力差が15mmAqから1mmAqに減衰するまでの時間 (Case 5のみは13mmAqから1mmAqへの減衰時間)
*2 "シール替前"は外周部下側エアタイトドアシール材の交換前
"シール替後"は外周部下側エアタイトドアシール材の交換後(表-2に再試験と表示)
"全面シール"は外周部下側エアタイトドア全面をビニールシートで覆った場合

表-3 飼育室の気密試験結果

した場合における気密性の指標として、室内外圧力差を 3 mmAq に仮定した場合の床面積 1 m² あたり漏洩量試算値を併記した。この試算値をドアのシール状態ごとと比較すると、ドアを通常の方法で閉めた場合（ドアシール材交換前）の平均漏洩量 0.5 m³/h・m² が、ドアシール材補充により約30%に減少している。ドア全面をシールした場合の漏洩量は天井と壁の部材自体からの漏洩とみなすことができるが各室とも 0.22 m³/h・m² 以下と少ないので、殺菌作業における室内圧力上昇量と噴霧、蒸散時間（10分程度）を考慮すれば実質的な室外漏洩は発生しないといえる。

ドアのシール状態ごとの室内外圧力差と漏洩量の関係を図-5 に示す。これにより前述の殺菌方法以外の方法（室内圧力の上昇を伴うホルマリン・過マンガン酸カリ反応法など）を採用した場合の漏洩量が推定できる。殺菌作業時にはドア全面をシールするのが一般的だが、以上の結果よりシール材を適切に使用することでドア全面をシールしなくとも漏洩の大部分を防止できることを示している。

3.2. 実際の殺菌作業による漏洩量の試算

今回の測定飼育室ではホルマリン蒸散法などの殺菌作業時には室外へのガス漏洩が生じないと推定されたが、さらに室内圧力上昇が予想される殺菌作業（ホルマリン・過マンガン酸カリ反応法）を実施した場合の隣接室への汚染を試算してみる。

試算には表-3 よりシール材補充後の平均的な漏洩特性を持つ、飼育室 5（Case 5, 床面積 25.0 m²）を用いる。殺菌条件は次のとおり。

- ①ガス濃度 1,000 ppm ②瞬時一様拡散
- ③最高室内圧力 15 mmAq ④圧力持続時間10秒

漏洩部位は隣接室に接する壁面および天井面のみと仮定する。隣接室へのガス漏洩の概要を図-6 に示す。飼育室 5 における殺菌作業による室外への漏洩ガス量は(6)式から 0.028 m³ と算出され、全量が二つの隣接室に50%ずつ漏れた場合の各室ホルマリンガス濃度は(7)式から 0.22 ppm と算出できる。隣接室にも飼育室 5 と同等の仕様で壁・天井が施工されているので実際に侵入するガス量はさらに少なく、ガスクロマトグラフィーなどによる検出限界をも下回ると予想される。

$$Q_5 = 0.03 \cdot \Delta P^{0.96} \cdot A_5 \cdot T \quad \dots\dots\dots(6)$$

Q₅: 飼育室 5 からの漏洩量 (m³/h)
 A₅: 飼育室 5 の床面積 (=25.0 m²)
 T: 圧力持続時間 (h)

$$D_n = \frac{Q_5 \cdot D_5}{V_n} \quad \dots\dots\dots(7)$$

D_n: 隣接室のガス濃度 (ppm)

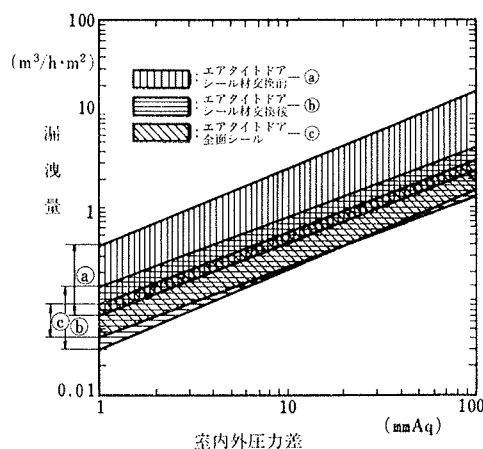


図-5 エアタイトドアシール状態ごとの漏洩特性

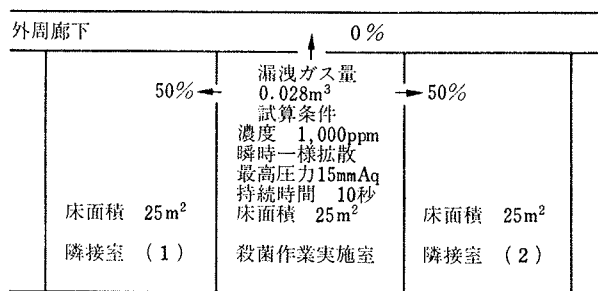


図-6 殺菌作業時のガス漏洩

D₅: 飼育室 5 のガス濃度 (ppm)

V_n: 隣接室の容積 (= 2室で 125 m³)

4. まとめ

実際の飼育室で殺菌作業を想定した場合の気密性評価を行なった。洗面器具やコンセントなど以外からの漏洩量の大部分はエアタイトドア取付部分のシール不良によるもので、シール材交換により改善された。天井や壁の部材自体からの漏洩は少なく、ホルマリンやグルタルアルデヒドなどの噴霧、蒸散、さらにホルマリン・過マンガン酸カリ反応法などによる殺菌作業時も隣接室への影響は無視できることがわかった。また、今回の気密性評価方法は 1 室あたりの測定所要時間（シール作業を除く）が約15分間、1本の圧縮空気ボンベ（1気圧換算のガス量で 150 m³）で数室の測定が可能であり、既存施設でも採用できる方法として実用性も高いといえる。

この研究の実施にあたり、ご協力をいただいた日本レダリー(株)志木工場、施設部、薬理研究部の皆様に感謝いたします。